

## Workpiece machining monitoring method using machining beam from laser machining head, involves monitoring signal from LC generator in which capacitance is formed between workpiece and machining head

Veröffentlichungsnr. (Sek.) DE19847365  
Veröffentlichungsdatum : 2000-05-04  
Erfinder : SPOERL GEORG (DE); BIERMANN STEPHAN (DE)  
Anmelder : PRECITEC GMBH (DE)  
Veröffentlichungsnummer :  DE19847365  
Aktenzeichen:  
(EPIDOS-INPADOC-normiert) DE19981047365 19981014  
Prioritätsaktenzeichen:  
(EPIDOS-INPADOC-normiert) DE19981047365 19981014  
Klassifikationssymbol (IPC) : B23K26/00  
Klassifikationssymbol (EC) : B23K26/03  
Korrespondierende Patentschriften

### Bibliographische Daten

The method involves producing a generator signal from an LC generator, such that the capacitance is formed by a measurement capacitance (CM) between the workpiece (3) and the machining head (1). The amplitude of the generator output signal is monitored for the occurrence of a defined change, to form a status signal. An Independent claim is also included for a device for monitoring the machining of a workpiece with a machining beam from a machining head.

Daten aus der **esp@cenet** Datenbank -- I2



(19) BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

(12) **Offenlegungsschrift**  
(10) **DE 198 47 365 A 1**

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>:

B 23 K 26/00

DE 198 47 365 A 1

(21) Aktenzeichen: 198 47 365.6  
(22) Anmeldetag: 14. 10. 1998  
(43) Offenlegungstag: 4. 5. 2000

(71) Anmelder:  
Precitec GmbH, 76571 Gaggenau, DE

(74) Vertreter:  
TER MEER STEINMEISTER & Partner GbR  
Patentanwälte, 81679 München

(72) Erfinder:  
Spörl, Georg, 76287 Rheinstetten, DE; Biermann,  
Stephan, Dr., 76593 Gernsbach, DE

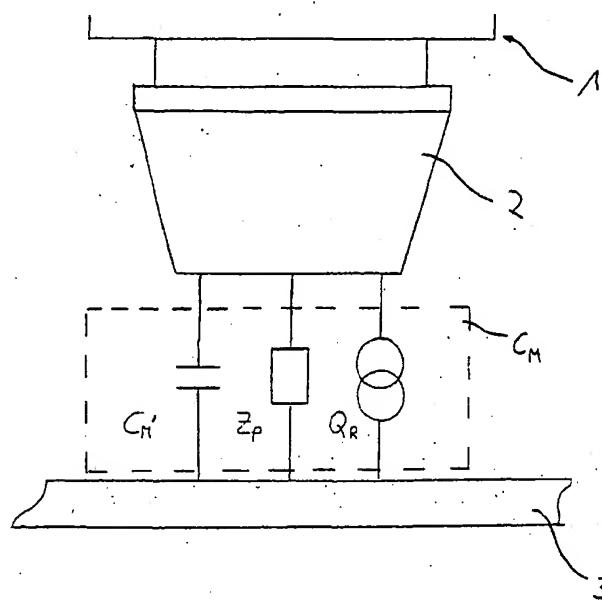
(56) Entgegenhaltungen:  
DE 196 44 101 C1  
DE 44 42 238 C1

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) Verfahren zur Überwachung der Bearbeitung eines Werkstücks mittels eines aus einem Bearbeitungskopf austretenden Bearbeitungsstrahls

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überwachung der Bearbeitung eines Werkstücks (3) mittels eines aus einem Bearbeitungskopf (1) austretenden Bearbeitungsstrahls, bei dem mittels eines LC-Generators (G), dessen Kapazität durch eine zwischen Bearbeitungskopf (1) und Werkstück (3) vorhandene Meßkapazität ( $C_M$ ) gebildet ist, ein Generatortaussgangssignal (5) erzeugt wird, dessen Amplitude zur Bildung eines Statussignals (14; 22) auf das Auftreten einer vorbestimmten Änderung hin überwacht wird.



DE 198 47 365 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überwachung der Bearbeitung eines Werkstücks mittels eines aus einem Bearbeitungskopf austretenden Bearbeitungsstrahls, insbesondere ein Verfahren zum Erkennen des Schnittabisses bei der Bearbeitung eines Werkstücks mittels eines Laserstrahls, sowie eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Aus der DE 196 44 101 C1 ist ein Verfahren zum Erkennen des Strahldurchtritts bei der Bearbeitung eines Werkstücks mittels eines Laserstrahls bekannt, bei dem die Lichthebung des bei der Bearbeitung des Werkstücks an der Bearbeitungsschielle entstehenden Plasmas ausgewertet wird. Die durch optische und am Laserbearbeitungskopf angeordnete Sensoren detektierte und vom Plasma kommende Strahlungsintensität dient dabei als Indikator.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art bereitzustellen, bei dem die Überwachung der Bearbeitung des Werkstücks ohne Verwendung optischer Sensoren durchgeführt werden kann. Darüber hinaus soll eine zur Durchführung des Verfahrens geeignete Vorrichtung angegeben werden.

Die verfahrensseitige Lösung findet sich im Patentanspruch 1. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind den Unteransprüchen 2 bis 7 zu entnehmen. Dagegen ist die vorrichtungsseitige Lösung im Patentanspruch 9 angegeben. Vorteilhafte Weiterbildungen derselben sind in den Unteransprüchen 10 bis 14 genannt.

Das Verfahren gemäß der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, daß zur Überwachung der Bearbeitung eines Werkstücks mittels eines aus einem Bearbeitungskopf austretenden Bearbeitungsstrahls mit Hilfe eines LC-Generators, dessen Kapazität durch eine zwischen Bearbeitungskopf und Werkstück vorhandene Meßkapazität gebildet ist, ein Generatorausgangssignal erzeugt wird, dessen Amplitude zur Bildung eines Statussignals auf das Auftreten einer vorbestimmten Änderung hin überwacht wird.

Ein Vorteil der Erfindung liegt darin, daß eine bereits bekannte kapazitive Abstandssensorik nicht nur zur Ermittlung des Abstandes zwischen Werkstück und Bearbeitungskopf sondern auch zur Überwachung der Bearbeitung des Werkstücks verwendet werden kann. Bei der Bearbeitung kann es sich um irgendein Bearbeitungsverfahren, z. B. Schneiden oder Schweißen, handeln, bei dem am Werkstück ein Plasma gebildet wird.

Der Erfindung liegt zugrunde, daß dieses Plasma z. B. im Falle eines Schneidevorgangs unterhalb des Bearbeitungskopfes bei erreichen der Grenze einer möglichen Schnittgeschwindigkeit immer intensiver wird. Es wird dann nicht mehr durch das Werkstück hindurchgeblasen. Elektrisch läßt sich das Plasma als Widerstand mit parallel geschalteter Rauschquelle beschreiben. Dieser Widerstand mit parallel geschalteter Rauschquelle liegt dann als Parallelschaltung zur abstandsabhängigen Kapazität  $C_M'$  zwischen einer z. B. Cu-Spitze des Bearbeitungskopfes und dem Werkstück.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kann nach wie vor die zwischen Bearbeitungskopf und Werkstück vorhandene abstandsabhängige Kapazität  $C_M'$  unabhängig vom Plasmawiderstand bestimmt werden. Dazu wird die Meßkapazität  $C_M$  in einen LC-Generator eingebunden. Bei dem LC-Generator kann es sich z. B. um einen allgemein bekannten emittergekoppelten LC-Oszillator handeln, der als kapazitives Element die Meßkapazität  $C_M$  enthält, was später genauer erläutert wird.

Erfolgt keine Bearbeitung des Werkstücks mittels des Bearbeitungsstrahls, so wird allein die zwischen Bearbeitungskopf und Werkstück vorhandene abstandsabhängige Kapazität  $C_M'$  in den LC-Generator eingebunden. Erst mit Bil-

dung des Plasmas treten parallel zu der abstandsabhängigen Kapazität  $C_M'$  der vom gebildeten Plasma abhängige Widerstand und die Rauschquelle hinzu, die jedoch praktisch keine Wirkung auf die Frequenz des vom LC-Generator erzeugten Generatorausgangssignals haben.

Durch Führen der Meßkapazität  $C_M$  in den LC-Generator erzeugt dieser also ein Generatorausgangssignal, dessen Frequenz allein von der abstandsabhängigen Kapazität  $C_M'$  zwischen Bearbeitungskopf und Werkstück bestimmt ist. Dagegen wirken auf die Amplitude des erzeugten Generatorausgangssignals der Widerstand und die parallel geschaltete Rauschquelle des Plasmas.

Die Amplitude des Generatorausgangssignals und der Rauschquelle können somit als Plasmaindikatoren dienen. Durch geeignete Auswertung dieser Amplitude kann der Bearbeitungsvorgang überwacht und beeinflußt werden.

Nach einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird aus dem Generatorausgangssignal die Trägerfrequenz des LC-Generators herausgefiltert bzw. durchgelassen.

Auf diese Weise werden aus dem Generatorausgangssignal charakteristische Amplitudenwerte bezüglich des Widerstandes des Plasmas erhalten, wodurch ein aussagekräftigeres Signal erhalten wird, aus dem sich wesentlich exakter Rückschlüsse auf den Bearbeitungsvorgang ziehen lassen.

Nach einer anderen Weiterbildung des Verfahrens werden aus dem Generatorausgangssignal die Rauschfrequenzen eines durch Plasmabildung erzeugten Rauschsignals herausgefiltert bzw. hindurchgelassen.

Da sich die Amplitude des Generatorausgangssignals aufgrund der vom Plasma erzeugten Rauschspannung ändert, kann auch nur die Amplitude des Rauschens auf das Auftreten einer vorbestimmten Änderung hin überwacht werden.

Alternativ können auch die Trägerfrequenz und die Rauschfrequenzen aus dem Generatorausgangssignal herausgefiltert werden, um das auf diese Weise erhaltenen zum Widerstand  $Z_p$  proportionale Signal auszuwerten.

Nach einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens werden die herausgefilterten Signale gleichgerichtet, und aus dem Generatorausgangssignal bzw. den aus ihm herausgefilterten Signalen werden jeweils mindestens zwei unterschiedliche Mittelwerte gebildet, die zur Erzeugung des Statussignals zueinander in Beziehung gesetzt werden.

Dabei können die verschiedenen Mittelwerte simultan oder sequentiell erzeugt werden. Im Falle der sequentiellen Erzeugung der Mittelwerte müssen sie, oder wenigstens einer von ihnen, zwischengespeichert werden.

Die Mittelwerte lassen sich z. B. durch Tiefpaßfilterung mit unterschiedlichen Zeitkonstanten erzeugen. Ein Tiefpaßfilter mit einer Grenzfrequenz von 10 Hz kann z. B. zur Bildung eines ersten Mittelwerts herangezogen werden, bei dem noch schnelle Änderungen des Generatorausgangssignals erkennbar sind. Zur Bildung des zweiten Mittelwerts kann ein Tiefpaßfilter mit einer geringeren Grenzfrequenz dienen, so daß sich dieser Mittelwert als Referenz verwenden läßt. Subtrahiert man z. B. beide Mittelwerte voneinander, bleibt die schnelle Änderung im Generatorausgangssignal übrig und kann zur Erzeugung eines Statussignals dienen. Die Grenzfrequenzen der beiden Tiefpaßfilter könnten z. B. bei 10 und 1 Hz liegen.

Nach einer noch anderen Ausgestaltung des Verfahrens wird aus dem Generatorausgangssignal bzw. den aus ihm herausgefilterten Signalen jeweils mindestens ein Mittelwert gebildet, der zur Erzeugung des Statussignals mit einem vorgegebenen Referenzwert in Beziehung gesetzt wird. Der Referenzwert kann z. B. einstellbar sein.

Der zuletzt genannte Mittelwert kann z. B. mit einem Tiefpaßfilter geringer Grenzfrequenz (z. B. 1 Hz) gebildet

werden, so daß durch seinen Vergleich mit dem Referenzwert auch langsame Veränderungen der Amplitude des Generatorausgangssignals detektiert werden können.

Nach einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung wird als Bearbeitungsstrahl ein Laserstrahl verwendet. Alternativ ist auch ein anderer Bearbeitungsstrahl denkbar, sofern er bei Auftreffen auf ein metallisches Werkstück ein Plasma an der Bearbeitungsstelle erzeugen kann.

Eine erfundungsgemäße Vorrichtung zur Überwachung der Bearbeitung eines Werkstücks mittels eines aus einem Bearbeitungskopf austretenden Bearbeitungsstrahls enthält einen LC-Generator, dessen Kapazität durch eine zwischen Bearbeitungskopf und Werkstück vorhandene Meßkapazität gebildet ist; mindestens ein ausgangsseitig mit dem LC-Generator verbundenes Filter zur Frequenzfilterung des Generatorausgangssignals; und eine dem Filter nachgeschaltete Auswerteeinrichtung zur Auswertung des aus dem Generatorsignal herausgefilterten Signals. Darüber hinaus kann ausgangsseitig mit dem LC-Generator auch ein Frequenz/Spannungs-Umsetzer verbunden sein, um neben der Auswertung der Amplitude des Generatorausgangssignals auch dessen Frequenz zur Abstandsmessung auszuwerten.

Nach einer bevorzugten Ausführungsform ist durch das Filter die Trägerfrequenz des LC-Generators herausfilterbar. Das Filter arbeitet hier als Bandpaßfilter.

Nach einer anderen bevorzugten Ausführungsform ist durch das Filter die Rauschfrequenz eines durch Plasmabildung erzeugten Rauschsignals aus dem Generatorausgangssignal herausfilterbar. Auch hier arbeitet das Filter als Bandpaßfilter.

Denkbar sind auch zwei Filter, die ausgangsseitig mit dem LC-Generator verbunden sind, um die Trägerfrequenz und das Rauschen herauszufiltern.

Dem jeweiligen Filter kann ein Gleichrichter unmittelbar nachgeschaltet sein.

Nach einem weiteren Ausführungsbeispiel enthält die Auswerteeinrichtung zwei parallel liegende und unterschiedliche Zeitkonstanten aufweisende Tiefpaßfilter, die jeweils einem der genannten Filter nachgeschaltet sind, um unterschiedliche Mittelwerte des gefilterten Generatorausgangssignals zu erhalten, sowie eine Vergleichseinrichtung zum Vergleichen dieser Mittelwerte miteinander.

Die Tiefpaßfilter können auch beiden oben genannten Filtern nachgeschaltet sein.

Nach einem anderen Ausführungsbeispiel weist die Auswerteeinrichtung ein dem jeweiligen Filter nachgeschaltetes Tiefpaßfilter zur Mittelwertbildung des gefilterten Generatorausgangssignals auf, eine Einrichtung zur Lieferung eines Referenzwertes sowie eine Vergleichseinrichtung, um den gebildeten Mittelwert mit dem Referenzwert zu vergleichen.

Der Referenzwert kann dabei alternativ fest oder einstellbar sein, ebenso wie das Tiefpaßfilter.

Möglich ist auch, daß die Auswerteeinrichtung sowohl die zwei oben genannten parallelen Tiefpaßfilter zusammen mit der Vergleichseinrichtung als auch das eine Tiefpaßfilter zusammen mit der dazugehörigen Vergleichseinrichtung und der Einrichtung zur Lieferung des Referenzwertes enthält.

Die Auswerteeinrichtung kann auch anstelle der Tiefpaßfilter andere Mittel zur Mittelwertbildung enthalten, z. B. Mittel für die arithmetische Mittelwertbildung.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels für das Schneiden eines Werkstücks mittels Laserstrahl unter Bezugnahme auf die Zeichnungen im einzelnen beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 ein Ersatzschaltbild einer zwischen einem Laserbearbeitungskopf und einem Werkstück vorhandenen Meßka-

pazität;

Fig. 2 ein Blockdiagramm eines Ausführungsbeispiels einer erfundungsgemäßen Vorrichtung;

Fig. 3 eine Schaltung eines LC-Generators mit eingebundener Meßkapazität  $C_M$ ; und

Fig. 4 zwei Amplitudenverläufe ( $Y_1$ ;  $Y_2$ ), in denen ein Schnittabriß erkennbar ist.

Fig. 1 zeigt einen Laserbearbeitungskopf 1 mit einer an seiner Spitze ausgebildeten Sensorelektrode 2, z. B. einer Cu-Elektrode. Die Sensorelektrode 2 dient zur Bildung einer Meßkapazität  $C_M$  zwischen dem Laserbearbeitungskopf 1 und einem Werkstück 3.

Außerdem zeigt die Figur ein Ersatzschaltbild der Meßkapazität  $C_M$  während eines Bearbeitungsvorgangs mit Plasmabildung. Die Meßkapazität  $C_M$  wird dabei gebildet durch eine abstandsabhängige Kapazität  $C_M'$ , zu der parallel ein das Plasma darstellender Widerstand sowie eine durch das Plasma verursachte Rauschquelle liegen. Erfolgt keine Bearbeitung des Werkstücks 3, so ist die Meßkapazität  $C_M$  zwischen dem Laserbearbeitungskopf 1 bzw. der Sensorelektrode 2 und dem Werkstück 3 gleich der abstandsabhängigen Kapazität  $C_M'$ .

Bei der Bearbeitung des Werkstücks 3 trifft ein aus dem Bearbeitungskopf austretender Laserstrahl (nicht gezeigt) auf das Werkstück 3, wodurch dieses am Bearbeitungspunkt sehr stark erhitzt wird, so daß Werkstoffmaterial bei Zufuhr von Sauerstoff verbrennt (Plasmabildung). Das Plasma ist in der Figur als Widerstand  $Z_p$  mit parallel geschalteter Rauschquelle  $Q_R$  beschrieben, die während der Bearbeitung des Werkstücks 3 parallel zur abstandsabhängigen Kapazität  $C_M'$  vorhanden sind. Die während der Bearbeitung des Werkstücks 3 vorhandene Meßkapazität  $C_M$  läßt sich also durch die abstandsabhängige Kapazität  $C_M'$  mit parallel geschalteter Impedanz  $Z_p$  und parallel geschalteter Rauschquelle  $Q_R$  darstellen.

Während  $C_M'$  ein Maß für den Abstand zwischen Laserbearbeitungskopf 1 und Werkstück 3 ist, dient der Widerstand  $Z_p$  zusammen mit der Rauschquelle  $Q_R$  als Indikator für die Intensität des Plasmas.

Fig. 2 zeigt ein Blockdiagramm eines Ausführungsbeispiels einer erfundungsgemäßen Vorrichtung.

Die in Fig. 1 gezeigte Ersatzschaltung der Meßkapazität  $C_M$  ist in Fig. 2 in einen LC-Generator G eingebunden. Bei dem LC-Generator G handelt es sich z. B. um einen emittergekoppelten LC-Oszillator, dessen übrige Bestandteile durch Block 4 symbolisiert sind. Die Schaltung des LC-Generators G mit der eingebundenen Meßkapazität  $C_M$  wird später bei der Beschreibung von Fig. 3 genauer erläutert.

Durch das Einbinden der Meßkapazität  $C_M$  in den LC-Generator G erzeugt dieser ein Generatorausgangssignal 5, dessen Frequenz von der abstandsabhängigen Kapazität  $C_M'$  und dessen Amplitude vom Widerstand  $Z_p$  bzw. der Rauschquelle  $Q_R$  bestimmt ist. Genauer gesagt ist die Amplitude proportional zum Widerstand  $Z_p$ .

Mittels eines dem LC-Generator G nachgeschalteten Frequenz/Spannungs-Umsetzers 6 kann das Generatorausgangssignal 5 auf allgemein bekannte Weise zur Abstandsmessung zwischen Laserbearbeitungskopf 1 und Werkstück 3 verwendet werden, da der Widerstand  $Z_p$  und die Rauschquelle  $Q_R$  praktisch keinen Einfluß auf die Frequenz des LC-Generators G haben.

Wie in Fig. 2 gezeigt, ist ausgangsseitig mit dem LC-Generator G ein Filter 7 verbunden, das aus dem Generatorausgangssignal 5 die Trägerfrequenz des LC-Generators G herausfiltert bzw. diese hindurchläßt. Ausgangsseitig mit dem Filter 7 ist weiterhin ein Gleichrichter 8 gekoppelt, um ein gleichgerichtetes Signal zu erzeugen. Ausgangsseitig mit dem Filter 8 ist dann eine Auswerteeinrichtung 9 gekoppelt,

um den Amplitudenverlauf des an der Auswerteeinrichtung 9 anliegenden Signals auszuwerten.

Fig. 2 zeigt ferner einen dem LC-Generator G nachgeschalteten Filter/Gleichrichter-Zweig parallel zum Filter 7 und Gleichrichter 8. Dieser Zweig enthält ein Filter 10 und einen nachgeschalteten Gleichrichter 11. Das Filter 10 ist so dimensioniert, daß es nur die Rauschfrequenzen des im Generatorausgangssignal 5 enthaltenen Rauschsignals durchläßt. Am Ausgang des Gleichrichters 11 erhält man somit ein Signal, dessen Amplitudenverlauf proportional zum Rauschsignal der Rauschquelle  $Q_R$  ist. Zwar nicht in Fig. 2 gezeigt, aber offensichtlich, kann auch dieses Signal alternativ oder zusätzlich zum Ausgangssignal des Gleichrichters 8 an den Eingang der Auswerteeinrichtung 9 gelegt werden.

Die Auswerteeinrichtung 9 enthält ein erstes Tiefpaßfilter 12, das eine Grenzfrequenz von etwa 10 Hz aufweist und an dem das gefilterte und gleichgerichtete Signal anliegt. Am Ausgang des Tiefpaßfilters 12 erscheint dann der mit kleinerer Zeitkonstante gebildete Mittelwert M1. Er wird einem positiven Eingang eines Komparators 13 zugeführt, an dessen Ausgang ein Statussignal 14 ausgegeben wird.

Ferner wird das am Ausgang des Gleichrichters 8 erhaltene Signal einem zweiten Tiefpaßfilter 15 zugeführt, das parallel zum ersten Tiefpaßfilter 12 liegt und eine vom Tiefpaßfilter 12 unterschiedliche Grenzfrequenz, z. B. 1 Hz, aufweist.

Am Ausgang des Tiefpaßfilters 15 erscheint dann der mit größerer Zeitkonstante gebildete Mittelwert M2. Dabei ist der Ausgang des zweiten Tiefpaßfilters 15 über einen Spannungsteiler 16 mit Masse verbunden. Über einen Mittelabgriff 17 des Spannungsteilers 16 wird der mit größerer Zeitkonstante gebildete Mittelwert M2 in seiner Amplitude eingestellt und zum negativen Eingang des Komparators 13 übertragen.

Bildet sich zum Beispiel beim Laserschneiden im Falle eines Schnittabrisss schlagartig vergleichsweise viel Plasma unterhalb der Sensorelektrode 2, so wird der Mittelwert M1 größer als der Mittelwert M2. Jetzt liegt am Ausgang des Komparators 13 ein hoher Signalpegel an. Unabdingbar dagegen die plötzliche Plasmabildung, etwa im Falle eines einwandfreien Schneidens, so bleibt M1 auf einem niedrigen Wert. Der Ausgang des Komparators 14 bleibt daher ebenfalls auf einem niedrigen Pegel. Abhängig vom Statussignal 14 kann dann die weitere Bearbeitung des Werkstücks 3 gesteuert werden.

In der Auswerteeinrichtung 9 befindet sich ferner ein zweiter Komparator 18, dessen positiver Eingang mit dem Ausgang des zweiten Tiefpaßfilters 15 verbunden ist, und dessen negativer Eingang in Verbindung mit dem Mittelabgriff 19 eines zweiten Spannungsteilers 20 steht. Der durch einen Schleifwiderstand gebildete Spannungsteiler 20 liegt einseitig auf Masse und mit seiner anderen Seite am Ausgang einer Referenzgleichspannungsquelle 21. Am Ausgang des Komparators 18 erscheint somit ein zweites Statussignal 22, das langsamere Veränderungen der Amplitude des Generatorausgangssignals berücksichtigt.

Wird z. B. das Werkstück 3 mittels des Laserstrahls kontinuierlich geschnitten, so liegt am positiven Eingang des Komparators 18 ein nur sehr kleines Signal an. Bei entsprechender Einstellung des Spannungsteilers 20 kann der Ausgang des Komparators 18 daher auf niedrigem Pegel liegen. Tritt allerdings der Fall ein, daß infolge von Temperatur- oder Materialänderungen des Werkstücks 3 dieses nicht mehr vollständig zerschnitten wird, so steigt der Mittelwert M2 langsam an und zieht daher den Ausgang des zweiten Komparators 18 auf hohen Pegel. Diese Ausgangssignaländerung kann dazu verwendet werden, den Schneidvorgang abzubrechen, Laserleistung zu erhöhen, usw.

Fig. 3 zeigt einen in der Vorrichtung nach Fig. 2 verwendeten LC-Generator G. Dieser enthält einen Transistor  $T_1$ , dessen Kollektoranschluß auf Masse liegt, und dessen Basisanschluß mit einer Induktivität  $L$  und der Meßkapazität  $C_M$  in einem gemeinsamen Verbindungspunkt gekoppelt ist. Die jeweils anderen Anschlüsse der Induktivität  $L$  und der Meßkapazität  $C_M$  liegen ebenfalls auf Masse. Der LC-Generator G enthält ferner einen Transistor  $T_2$ , dessen Basisanschluß auf Masse liegt, und dessen Kollektoranschluß mit dem gemeinsamen Verbindungspunkt von der Induktivität  $L$  und der Meßkapazität  $C_M$  verbunden ist. Die Emitteranschlüsse der Transistoren  $T_1$  und  $T_2$  sind direkt miteinander verbunden, wobei über einen gemeinsamen Verbindungspunkt ein Widerstand  $R_E$  jeweils mit den Emitteranschlüssen von  $T_1$  und  $T_2$  gekoppelt ist. Wie ferner in Fig. 3 gezeigt, ist dem Ausgang 23 eine Verstärkereinheit 24 vorgeschaltet.

Der in Fig. 3 gezeigte Generator G ist als Differenzverstärker realisiert. Da das Basispotential von  $T_1$  mit dem Kollektorpotential von  $T_2$  in Phase ist, kann man die Mitkopplung durch direkte Verbindung erzeugen. Die Schleifenverstärkung ist zur Steilheit der Transistoren proportional. Sie läßt sich durch Änderung des Emitterstromes in weiten Grenzen einstellen. Am Ausgang 23 des LC-Generators G erhält man dann das Generatorausgangssignal, dessen Frequenz von der abstandsabhängigen Kapazität  $C_M$  und dessen Amplitude vom Widerstand des Plasmas sowie von dem durch das Plasma erzeugten Rauschen bestimmt ist.

Fig. 4 zeigt zwei mögliche alternative Amplitudenverläufe  $Y_1$ ,  $Y_2$  eines am Ausgang des Tiefpaßfilters 12 vorliegenden Signals für einen Schneidvorgang mittels Laserstrahl. In diesem Fall weist das Tiefpaßfilter 12 eine Grenzfrequenz von etwa 10 Hz auf. Auf der x-Achse ist die Bearbeitungszeit des Werkstücks in Sekunden aufgetragen. Die y-Achsen zeigen entsprechende Amplitudenwerte.

Während die untere Kurve ( $Y_1$ ) proportional zum Widerstand  $Z_p$  des Plasmas verläuft, ist die obere Kurve ( $Y_2$ ) proportional zu dem vom Plasma erzeugten Rauschen  $Q_R$ .

Beide Kurvenverläufe zeigen bei etwa 18 Sekunden Bearbeitungszeit einen deutlichen sprunghaften Amplitudenanstieg. Das beim Schneiden gebildete Plasma wird an dieser Stelle nicht mehr durch das Werkstück hindurch weggeblasen, sondern sammelt sich auf der zum Laserbearbeitungskopf 1 weisenden Seite des Werkstücks 3 an der Bearbeitungsstelle. Dies hat einen sprunghaften Anstieg des Plasmawiderstandes  $Z_p$  und des Pegels des vom Plasma erzeugten Rauschsignals zur Folge, was sich im Kurvenverlauf deutlich widerspiegelt. Mit anderen Worten schneidet der Laserstrahl das Werkstück an dieser Stelle nicht mehr vollständig durch.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Überwachung der Bearbeitung eines Werkstücks (3) mittels eines aus einem Bearbeitungskopf (1) austretenden Bearbeitungsstrahls, bei dem mittels eines LC-Generators (G), dessen Kapazität durch eine zwischen Bearbeitungskopf (1) und Werkstück (3) vorhandene Meßkapazität ( $C_M$ ) gebildet ist, ein Generatorausgangssignal (5) erzeugt wird, dessen Amplitude zur Bildung eines Statussignals (14, 22) auf das Auftreten einer vorbestimmten Änderung hin überwacht wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß aus dem Generatorausgangssignal (5) die Triggerfrequenz des LC-Generators (G) herausgefiltert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß aus dem Generatorausgangssignal (5) die

Rauschfrequenzen eines durch Plasmabildung erzeugten Rauschsignals herausgefiltert werden.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die herausgefilterten Signale gleichgerichtet werden.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß aus dem Generatorausgangssignal (5) bzw. den aus ihm herausgefilterten Signalen jeweils mindestens zwei unterschiedliche Mittelwerte (M1, M2) gebildet werden, die zur Erzeugung des Statussignals (14, 15) zueinander in Beziehung gesetzt werden.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß aus dem Generatorausgangssignal (5) bzw. den aus ihm herausgefilterten Signalen jeweils mindestens ein Mittelwert (M2) gebildet wird, der zur Erzeugung des Statussignals (22) mit einem vorgegebenen Referenzwert (Ref) in Beziehung gesetzt wird.
7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittelwerte durch Tiefpaßfilterung mit unterschiedlichen Zeitkonstanten gebildet werden.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß als Bearbeitungsstrahl ein Laserstrahl verwendet wird.
9. Vorrichtung zur Überwachung der Bearbeitung eines Werkstücks (3) mittels eines aus einem Bearbeitungskopf (1) austretenden Bearbeitungsstrahls, enthaltend: einen LC-Generator (G), dessen Kapazität durch eine zwischen Bearbeitungskopf (1) und Werkstück (3) vorhandene Meßkapazität gebildet ist; mindestens ein ausgangsseitig mit dem LC-Generator (G) verbundenes Filter (7; 10) zur Frequenzfilterung des Generatorausgangssignals (5); und eine dem Filter (7; 10) nachgeschaltete Auswerteeinrichtung (9) zur Auswertung des aus dem Generatorausgangssignal (5) herausgefilterten Signals.
10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß durch das Filter (7; 10) die Trägerfrequenz des LC-Generators (G) herausfilterbar ist.
11. Vorrichtung nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß durch das Filter (7; 10) die Rauschfrequenz eines durch Plasmabildung erzeugten Rauschsignals aus dem Generatorausgangssignal (5) herausfilterbar ist.
12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß dem jeweiligen Filter (7; 10) ein Gleichrichter (8; 11) nachgeschaltet ist.
13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswerteeinrichtung (9) zwei parallel liegende und unterschiedliche Zeitkonstanten aufweisende Tiefpaßfilter (12; 15) enthält, die jeweils einem der genannten Filter (7; 10) nachgeschaltet sind, um unterschiedliche Mittelwerte (M1; M2) des gefilterten Generatorausgangssignals (5) zu erhalten, sowie eine Vergleichseinrichtung (13) zum Vergleichen dieser Mittelwerte (M1; M2) miteinander.
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswerteeinrichtung (9) ein dem jeweiligen Filter (7; 10) nachgeschaltetes Tiefpaßfilter (15) zur Mittelwertbildung des gefilterten Generatorausgangssignals (5) aufweist, eine Einrichtung (21) zur Lieferung eines Referenzwertes enthält sowie ferner eine Vergleichseinrichtung (18) umfaßt, um den gebildeten Mittelwert (M2) mit dem Referenz-

wert (Ref) zu vergleichen.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

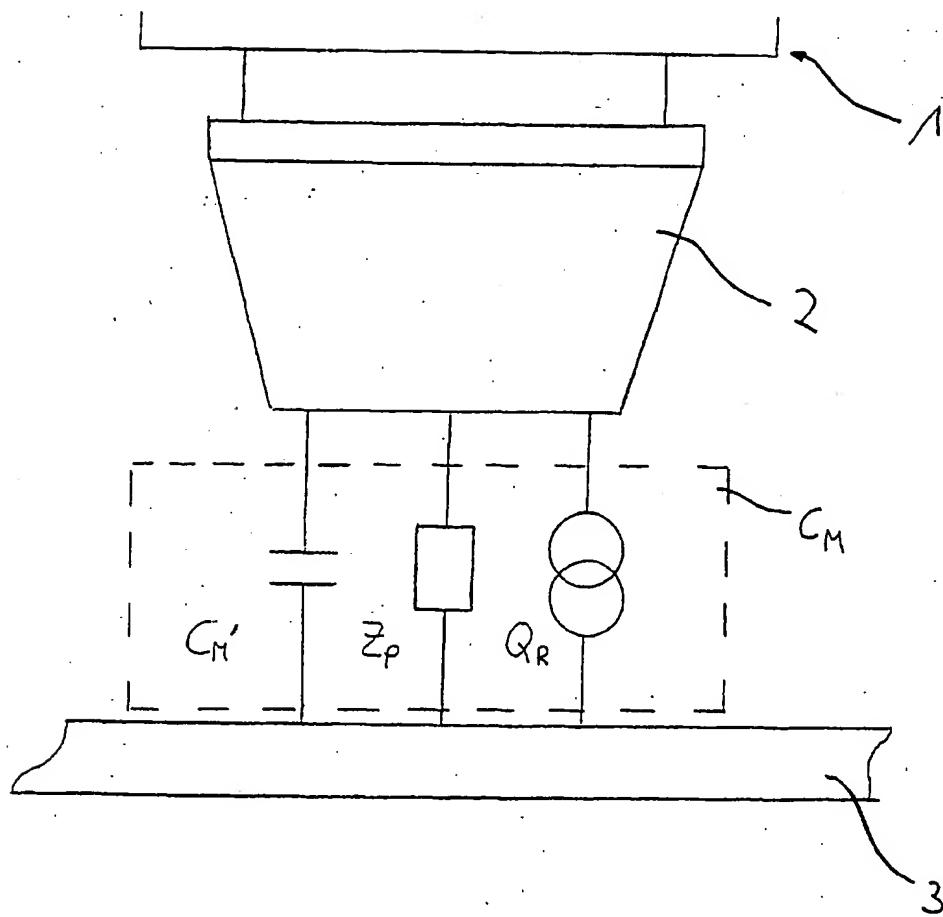


Fig. 1

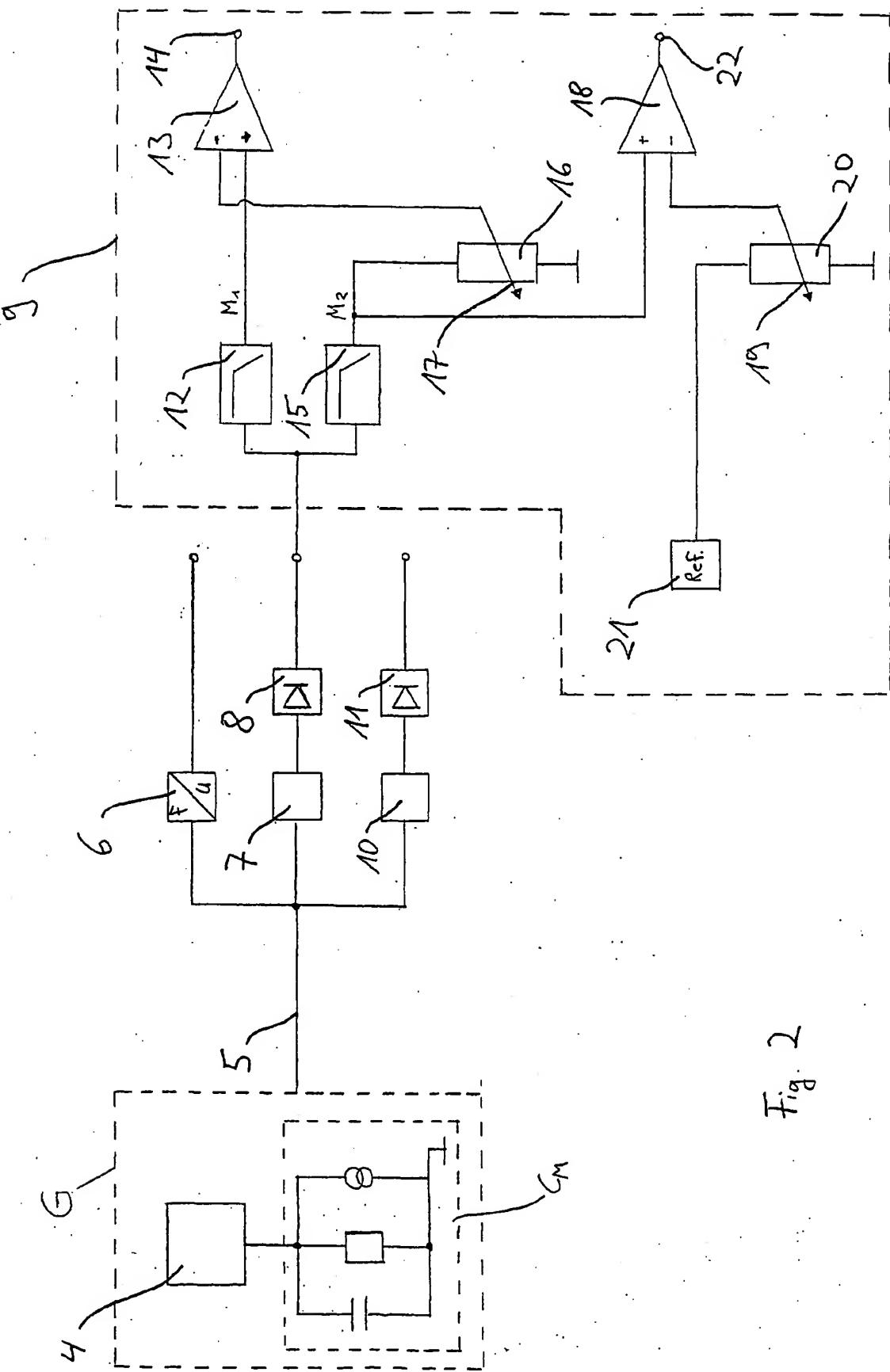


Fig. 2

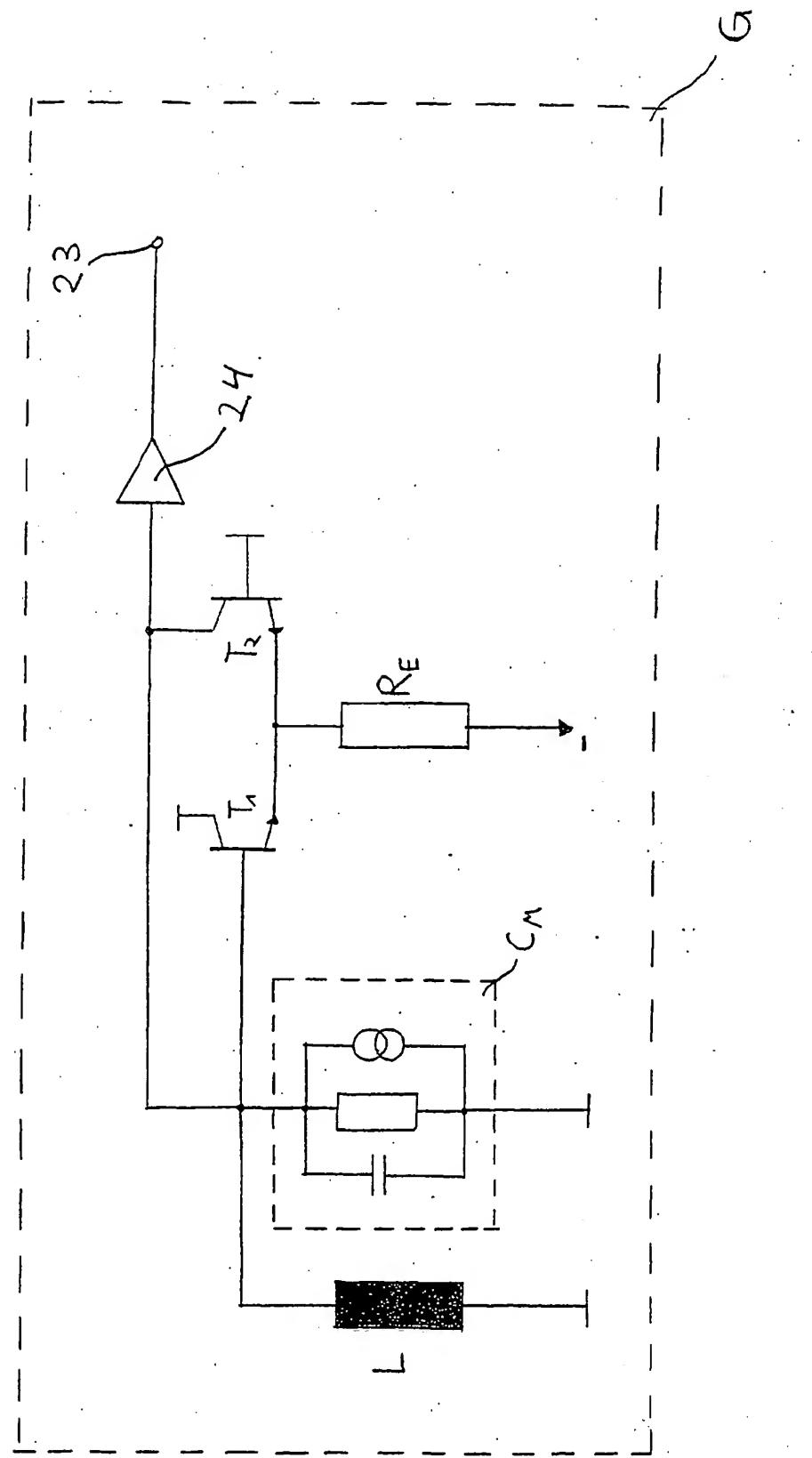


Fig. 3

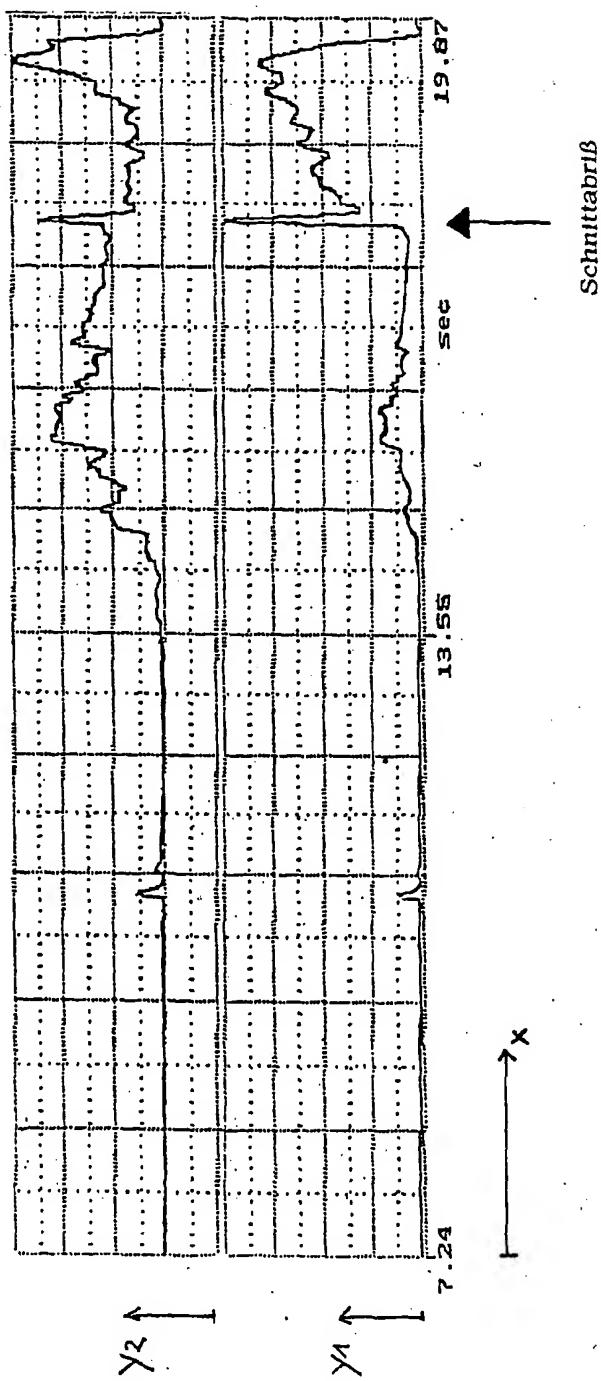


Fig. 4